**Journal of Agroecology**
Homepage: http://agry.um.ac.ir

**Research Article**
**Vol. 16, No. 2, 2024, p. 353-367**

# Evaluation of the Effect of Foliar Application of Iron Fertilizer on the Phytochemical and Functional Characteristics of Borage (*Borago officinalis* L.) in Intercropping with Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.)

**Vali Mohammad Abdolahi [1], Mehdi Dahmardeh [2*] and Issa Khammari [2]**

1 And 2- M.Sc. Graduated Student and Associate Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Zabol University, Zabol, Iran. respectively
(*- Corresponding author's Email: dr.dahmardeh@uoz.ac.ir)

| | |
|---|---|
| Received: 10-03-2023<br>Revised: 18-04-2023<br>Accepted: 26-04-2023<br>Available Online: 26-04-2023 | **How to cite this article:**<br>Abdolahi, V.M., Dahmardeh, M., & Khammari, I. (2024). Evaluation of the effect of foliar application of iron fertilizer on the phytochemical and functional characteristics of Borage (*Borago officinalis* L.) in intercropping with Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). *Journal of Agroecology, 16*(2), 353-367. (In Persian with English abstract).<br>https://doi.org/10.22067/agry.2023.81455.1149 |

## Introduction

Sustainable agriculture refersp to the correct management of agricultural resources that, while meeting changing human needs, and preserve the quality of the environment and the capacity of water and soil resources. Among the components of sustainable agriculture, we can mention the agroforestry system, integrated pest management, crop rotation, and intercropping. The purpose of intercropping is to find plants that have the least competition with each other and use the available resources more effectively. The purpose of this research is to the effect of intercropping of Roselle on the quantitative and qualitative traits of borage under foliar application of iron fertilizer and to determine the best ratio of intercropping to achieve the highest yield and the highest level of land equivalent ratio.

## Material and Methods

This research was carried out in the educational research farm of the Faculty of Agriculture of Zabol University in the agricultural year of 2014-2015. The experiment was carried out as a factorial in the form of a randomized complete block design with three replications. The treatments examined in this research include foliar spraying of sulfate fertilizer as the first factor in three levels including |(no foliar application or control, 3gr.$l^{-1}$ and 6gr.$l^{-1}$) and eight levels of intercropping including (pure Roselle, pure Borage, 75% Roselle + 25% Borage, 75% Borage + 25% Roselle, 50% Roselle + 50% Borage, 50% Roselle + 100% Borage, 100% Roselle + 50% Borage, 100% Roselle + 100% Borage were as the second factor. Both plants were planted at the same time at the end of March in 2×2 plots, where the distance between the planting lines was 50 cm, the distance between the rows was the same, but the density was different in each row. Irrigation was done according to the needs of the plants, weeding and thinning during the growth period and weeding was done by hand during three stages. Wagner's method was used to measure the amount of anthocyanins. The criterion for evaluating intercropping



https://doi.org/10.22067/agry.2023.81455.1149

was using the land equivalent ratio. At the end, data analysis will be done using SAS version 9.1 software, and a comparison of means will be done using Duncan's test at the 5 % level.

## Results and Discussion

Results showed that the interaction effects of foliar application, iron, and intercropping were significant on the anthocyanin and mucilage content of borage. Additionally, the simple effects of foliar application of iron were significant on the number of flowers per stem, stem height, number of sub-branches, biological yield, and harvest index. The effects of intercropping were significant on the number of flowers per stem, anthocyanin content, mucilage content, stem height, number of sub-branches, economic yield, and harvest index. The comparison of means effects of different intercropping systems showed that the highest biological yield (1412.8 $kg.ha^{-1}$) was obtained from the intercropping system of 75% Roselle + 25% borage. In addition, the comparison of means effects of different intercropping systems showed that the highest amount of economic yield (49.68 $kg.ha^{-1}$) was obtained from the treatment of pure borage cultivation. Comparison of means showed that the highest percentage of mucilage with an average of 0.0713% from the foliar treatment of $6gr.l^{-1}$ of iron sulfate in the conditions of pure borage cultivation, and the lowest percentage of mucilage was obtained with an average of 0.0280 from the control treatment (no application of iron sulfate fertilizer + 100% Roselle + 50% borage). The highest land equivalent ratio (2) was obtained from intercropping of 100% Roselle + 50% borage harvest.

## Conclusion

According to the results obtained in the present study, the effects of foliar application of iron and intercropping systems had significant effects on yield and yield components of borage. By increasing the foliar application of iron improved growth traits and yield. The highest proportion of LER obtained was from 100% Roselle+ 50% borage, which indicated superior cropping compared to pure crop. This superiority is probably due to the better use of mixed components of growth resources such as light, water, and nutrients compared to pure crop.

**Keywords**: Anthocyanin, Intercropping ratios, Land Equivalent Ratio, Mucilage

نشریه بوم شناسی کشاورزی
Homepage: http://agry.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۱۶، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۳، ص ۳۶۷-۳۵۳

# ارزیابی اثر محلول‌پاشی کود آهن بر خصوصیات فیتوشیمیایی و عملکردی گاوزبان اروپایی (*Borago officinalis* L.) در کشت مخلوط با چای ترش (*Hibiscus sabdariffa* L.)

ولی‌محمد عبداللهی[1]، مهدی دهمرده[2]* و عیسی خمری[3]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۱۹
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۱/۲۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۲/۰۶

## چکیده

به‌منظور ارزیابی تأثیر نسبت‌های جایگزینی و افزایشی کشت مخلوط چای ترش بر ویژگی‌های کمّی و کیفی گاوزبان اروپایی تحت محلول‌پاشی کود آهن آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار، در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه زابل در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ اجرا گردید. تیمارهای آزمایش شامل محلول‌پاشی سولفات آهن به‌عنوان عامل اول در سه سطح شاهد، سه و شش گرم در لیتر و نسبت‌های کشت مخلوط شامل خالص چای ترش، خالص گاوزبان اروپایی، ۷۵ درصد چای ترش + ۲۵ درصد گاوزبان اروپایی، ۷۵ درصد گاوزبان اروپایی + ۲۵ درصد چای ترش، ۵۰ درصد چای ترش + ۵۰ درصد گاوزبان اروپایی، ۵۰ درصد چای ترش + ۱۰۰ درصد گاوزبان اروپایی، ۱۰۰ درصد چای ترش + ۵۰ درصد گاوزبان اروپایی، ۱۰۰ درصد چای ترش + ۱۰۰ درصد گاوزبان اروپایی به‌عنوان عامل دوم بود. نتایج حاصل از برهم‌کنش متقابل کشت مخلوط و محلول‌پاشی سولفات آهن نشان داد که بیشترین میزان آنتوسیانین از تیمارشش گرم در لیتر سولفات آهن و ۱۰۰ درصد چای ترش + ۱۰۰ درصد گاوزبان اروپایی به‌دست آمد. بیشترین مقدار عملکرد اقتصادی گاوزبان اروپایی در بین نسبت‌های کشت مخلوط از تیمار ۲۵ درصد چای ترش به‌علاوه ۷۵ درصد گاوزبان اروپایی به‌دست آمد (۴۹/۱ کیلوگرم در هکتار) که از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با تیمار ۱۰۰ درصد چای ترش + ۵۰ درصد گاوزبان اروپایی نشان نداد. بالاترین مقدار نسبت برابری زمین (۲)، از کشت مخلوط ۱۰۰ درصد چای ترش + ۵۰ درصد گاوزبان اروپایی به‌دست آمد که نشان‌دهنده مزیت کشت مخلوط نسبت به تک کشتی است.

**واژه‌های کلیدی:** آنتوسیانین، موسیلاژ، نسبت برابری زمین، نسبت‌های کشت مخلوط

## مقدمه

کشت مخلوط از روش‌های زراعی و با قدمتی دیرینه است که کشاورزان در جهت بهبود شرایط زراعی و افزایش سازگاری با طبیعت در پیش گرفته‌اند (Abbasi et al., 2006). در زراعت‌های چند کشتی آنچه بیشتر مد نظر است، مهار تغییرات زمانی و مکانی یا به عبارت دیگر، حداکثر استفاده از فصل رشد، آب، درجه حرارت، نور و سایر منابع می‌باشد (Moradi et al., 2017). کشت مخلوط به‌عنوان نمونه‌ای از نظام‌های پایدار در کشاورزی اهدافی نظیر افزایش تنوع زیستی، کاهش خسارات ناشی از آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز، بهره‌برداری بیشتر از منابع طبیعی، افزایش کمّی و کیفی عملکرد (Shobeiri et al., 2011)، ثبات عملکرد در شرایط نامطلوب محیطی، کنترل فرسایش خاک و ایجاد تنوع و ثبات در بوم نظام‌های زراعی را دنبال می‌کند (Kremer & Kussman, 2011). کشت مخلوط می‌تواند به‌جهت تنوع محصولات و افزایش سود حاصله در

۱ و ۲- به‌ترتیب دانش آموخته کارشناسی ارشد و دانشیار، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: dr.dahmardeh@uoz.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/agry.2023.81455.1149

واحد سطح و زمان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار باشد (Ibrahim et al., 2014).

استفاده از گونه‌های گیاهی با فنولوژی و خصوصیات مورفولوژیکی متفاوت که کمترین رقابت را در یک آشیانه اکولوژیکی ثابت، چه از نظر عوامل محیطی و چه از نظر زمان با هم ایجاد کنند، عامل مهمی در موفقیت کشت مخلوط محسوب می‌شود که در این صورت، کاهش رقابت بین گونه‌ای نسبت به رقابت درون گونه‌ای موجب می‌شود تا دو گیاه درآشیان اکولوژیکی یکسان، رقابتی با یکدیگر نداشته باشند (Mushagalusa et al., 2008). در کشت مخلوط اختلاف ارتفاع دو گیاه، جدا بودن آشیان‌های اکولوژیک در استفاده از منابع و کاهش رقابت بین دو گیاه از جمله عواملی هستند که سبب سودمندی کشت مخلوط دو گیاه و تولید عملکرد بیولوژیک بالاتر نسبت به تک‌کشتی آن‌ها می‌شود (Bigonah et al., 2014).

بخش وسیعی از خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک ایران به دلیل آهکی و قلیایی بودن، دچار کمبود عناصر ریز مغذی، به‌ویژه آهن هستند. محلول‌پاشی یا تغذیه برگی یکی از راه‌های مؤثر در تأمین عناصر کم مصرف مورد نیاز گیاهان است که علاوه‌بر کاهش تثبیت کودهای شیمیایی در خاک باعث کاهش آلودگی آب و خاک می‌شود (Malakuti & Tehrani, 1999). در مطالعه اصل محمدی و همکاران (AsleMohammadi et al., 2020) محلول‌پاشی روی اثر معنی‌داری بر افزایش محتوی تیمول در آویشن (*Thymus vulgaris*) داشت. در تحقیق دیگری بر روی گیاه شوید (*Anethum graveolens* L.)، محلول‌پاشی دو گرم در لیتر سولفات آهن در مقایسه با مقادیر ۱ و ۱/۵ گرم در لیتر سولفات آهن، عملکرد اسانس را کاهش داد (Miransari et al., 2015).

رایج‌ترین روش استفاده شده برای ارزیابی سودمندی عملکرد در کشت مخلوط نسبت برابری زمین است. به‌وسیله این شاخص مشخص می‌شود که چه مقداری زمین به‌صورت تک کشتی مورد نیاز است تا همان مقدار محصول به‌صورت مخلوط به‌دست آید (Tsubo et al., 2011).

چای ترش (*Hibiscus sabdariffa* L.) متعلق به خانواده پنیرکیان (Malvaceae) است که از گذشته‌های دور به‌صورت خوراکی و دارویی مورد استفاده قرار گرفته است (Ahmad et al., 2011). بخش قابل استفاده این گیاه کاسبرگ‌ها هستند که دارای اسیدهای آلی چون اگزالیک، مالئیک، سیتریک و تارتاریک و همچنین دارای ویتامین ث، پروتئین، مواد معدنی و آنتوسیانین می‌باشد. از کاسبرگ‌ها برای درمان فشار خون، اسهال، سوء هاضمه و بیماری‌های کبدی و قلبی استفاده می‌گردد (Asadi & Khorramdel, 2014). رویکرد روز افزون استفاده از گیاهان دارویی و فراورده‌های حاصل از آن، نقش این گیاهان را در چرخه اقتصاد جهانی پررنگ‌تر کرده، به‌طوری‌که مصرف رو به رشد آن‌ها تنها به کشورهای در حال توسعه محدود نبوده، بلکه در کشورهای پیشرفته نیز توسعه فراوانی یافته‌اند (Rezvani Moghaddam & Moradi, 2012). از طرف دیگر، کشت و کار گیاهان دارویی و معطر از نظر ایجاد تنوع و پایداری می‌تواند نقش مهمی در سیستم‌های کشاورزی ایفا کند. صرف نظر از ارزش اقتصادی گیاهان دارویی، این گیاهان قابل تطابق با روش‌های کشت ارگانیک و نظام‌های کم‌نهاده هستند (Sujatha et al., 2011).

آهن از جمله عناصر ضروری برای رشد و تولید مثل گیاهان بوده و بنابراین، برای بقای گیاهان لازم است. این عنصر در فرایند فتوسنتز، تنفس، جذب و ساخت نیتروژن و کلروفیل در گیاهان نقش دارد. کاهش در میزان کلروفیل برگ‌های جوان به‌دلیل نقش آهن در ساخت کلروفیل، آشکارترین نشانه کمبود آهن است که به‌صورت زردی بین رگبرگی در برگ‌های جوان نمایان می‌شود (Marschner, 1995). اگرچه تولید متابولیت‌های ثانویه تحت کنترل ژن‌ها هستند، مقدار تولید آن‌ها به‌طور شایان توجهی تحت تأثیر شرایط محیطی قرار می‌گیرد که از جمله مهم‌ترین این عوامل خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و عناصر غذایی کم‌مصرف و پرمصرف هستند (Sharifi Ashourabadi et al., 2006). کاهش ترکیبات مورد نیاز برای سنتز اسانس، درصد اسانس را کاهش می‌دهد. با توجه به نقش کلیدی آهن در فرایند فتوسنتز، احتمالاً کاربرد آن با بهبود فتوسنتز سبب افزایش میزان اسانس گیاه می‌شود. تحقیق دیگری نشان داده است که بیوسنتز اسانس گیاه ریحان (*Ocimum basilicum*) به شدت تحت تأثیر آهن قرار گرفته است (Zehtab-Salmasi et al., 2008). در مطالعات مختلف، نقش آهن به‌عنوان یک کاتالیزور در فرایند تنفس اثبات شده است، ازاین‌رو فراهمی آهن می‌تواند در تولید متابولیت‌های ثانویه مؤثر باشد (Nasiri et al., 2010).

محتوای کلروفیل یکی از مهم‌ترین عواملی است که ظرفیت فتوسنتزی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. احتمالاً علت افزایش مقدار کلروفیل به‌دلیل تأثیر آهن بر ساخت پیش‌سازهای سنتز کلروفیل

است، زیرا آهن جز متابولیک آنزیم کاپروپورفینوژن اکسیداز است و این آنزیم در بیوسنتز آلفا- آمینو لینوولنیک (ALA) که پیش‌ساز کلروفیل است تأثیر دارد (Marschner, 1995). محلول‌پاشی آهن با بهبود شرایط تغذیه‌ای، محتوای کلروفیل برگ را افزایش می‌دهد، امّا با افزایش مصرف آهن میزان کلروفیل کاهش می‌یابد. در شرایط سمیت آهن (مقادیر بالا) عدم خنثی شدن رادیکال‌های اکسیژن و باقی ماندن پراکسید هیدروژن در گیاه منجر به واکنش فنتون و هابر وایس می‌شود که در ازای آن رادیکال خطرناک هیدروکسیل تولید می‌شود که می‌تواند به‌صورت پی در پی انواع ماکرو مولکول‌های زیستی از جمله لیپیدها و پروتئین را ناپایدار کند. نتیجه تنش اکسیداتیو ناشی از سمیت آهن در گیاهان کاهش میزان پروتئین‌ها، قندهای محلول، کلروفیل و صدمات برگشت‌ناپذیر به غشای زیستی و اسیدهای نوکلئیک است که توسط بسیاری از محققین گزارش شده است (Kuo & Kao, 2004; Kiani et al., 2014).

بدین ترتیب، با توجه به اهمیت به‌کارگیری اصول کشاورزی پایدار در مدیریت بوم نظام‌های زراعی (Gliessman, 1997) وجود پتانسیل تولید گونه‌های ارزشمند دارویی در کشور (Omidbaigi, 2005) و در نظر گرفتن اهمیت اقتصادی گیاهان دارویی (Rangahau, 2003; Ghorbani & Koocheki, 2006)، در این پژوهش دو گیاه چای ترش و گاوزبان اروپایی به لحاظ تفاوت‌های رشدی و مورفولوژیکی و نیازهای اکولوژیکی متفاوت به‌منظور تأثیر کشت مخلوط بر ویژگی‌های کمّی و کیفی تحت محلول‌پاشی کود آهن و تعیین بهترین نسبت کشت مخلوط این دو گونه با توجه به بالاترین عملکرد و نسبت برابری زمین انتخاب شدند.

## مواد و روش‌ها

این تحقیق در مزرعه آموزشی- پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه زابل واقع در زهک چاه نیمه (با عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۵۵ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۶۱ درجه و ۳۱ دقیقه شرقی با ارتفاع ۴۸۰ متر از سطح دریا) درسال زراعی ۹۵- ۱۳۹۴ اجرا گردید. خاک زمین محل اجرای آزمایش از نوع لوم شنی بود که مشخصات آن در جدول ۱ ارائه شده است.

**جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش**

**Table 1- Physical and chemical properties of soil**

| اسیدیته pH | آهن Fe (mg.kg$^{-1}$) | هدایت الکتریکی EC (dS.m$^{-1}$) | کلسیم Ca (mg.kg$^{-1}$) | پتاسیم K (mg.kg$^{-1}$) | ماده آلی O.C (%) | نیتروژن کل Total N (%) | رس Clay (%) | سیلت Silt (%) | شن Sand (%) | بافت Texture |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 7.8 | 4 | 2.93 | 10.8 | 280 | 0.72 | 0.06 | 13 | 17 | 70 | Sandy loam |

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارهای مورد بررسی در این پژوهش شامل محلول‌پاشی کود سولفات آهن به‌عنوان عامل اول در سه سطح شامل عدم محلول‌پاشی یا شاهد، سه گرم در لیتر و شش گرم در لیتر و نسبت‌های کشت مخلوط در هشت سطح شامل کشت خالص چای ترش، کشت خالص گاوزبان اروپایی،کشت مخلوط ۷۵درصد چای ترش + ۲۵ درصد گاوزبان اروپایی، ۷۵ درصد گاوزبان اروپایی + ۲۵ درصد چای ترش، ۵۰ درصد چای ترش + ۵۰ درصد گاوزبان اروپایی، ۵۰ درصد چای ترش + ۱۰۰ درصد گاوزبان اروپایی، ۱۰۰ درصد چای ترش + ۵۰ درصد گاوزبان اروپایی، ۱۰۰ درصد چای ترش + ۱۰۰ درصد گاوزبان اروپایی به‌عنوان عامل دوم در نظر گرفته شد. بذور مورد استفاده در این آزمایش برای گاوزبان اروپایی از شرکت پاکان بذر اصفهان و برای چای ترش از پژوهشکده کشاورزی دانشگاه زابل واقع در چاه نیمه تهیه شد.

عملیات کاشت هر دو گیاه همزمان در اواخر اسفند ماه در کرت‌هایی با ابعاد ۲ × ۲ صورت گرفت که فاصله ردیف‌های کشت ۵۰ سانتی‌متر از یکدیگر بود (تمام تیمارها به‌صورت یک ردیف چای ترش و یک ردیف گاوزبان اروپایی کشت شد) فاصله بین ردیف‌ها یکسان، ولی تراکم در هر ردیف متفاوت بود. نسبت‌های کشت با تغییر تراکم بوته (تغییر فاصله دو بوته روی ردیف) و فاصله ثابت بین دو ردیف (۵۰ سانتی‌متری) اجرا شد. با توجه به اینکه دوره رشد گاوزبان اروپایی کوتاه‌تر از چای ترش می‌باشد تا زمان گل‌دهی و برداشت گاوزبان که

مصادف با دمای پایین‌تر در منطقه است، آبیاری دو گیاه براساس نیاز آبی گاوزبان انجام شد و پس از آن، دور آبیاری با توجه بـه نیاز آبی چای ترش تنظیم گردید. عملیات واکاری و تنک در یک مرحله و وجین علف‌های هرز در طی سه مرحله در طول دوره رشد به‌صورت دستی انجام گرفت.

عملیات برداشت گاوزبان اروپایی در خرداد و چای ترش در شهریور ماه به‌صورت متناوب انجام شد. پس از حذف اثر حاشیه ای، نمونه‌ها از مساحت یک متر مربع برداشت گردید. سپس، وزن نمونه‌ها با استفاده از ترازوی دقیق اندازه‌گیری و به‌مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد خشک شد. با استفاده از وزن تر و خشک نمونه‌ها عملکرد اقتصادی و بیولوژیک برحسب کیلوگرم در هکتار محاسبه گردید. همچنین، صفات گاوزبان اروپایی شامل شاخص برداشت، ارتفاع ساقه گل‌دهنده، تعداد گل در ساقه گل‌دهنده، تعداد ساقه فرعی گل‌دهنده اندازه‌گیری شد.

جهت اندازه‌گیری موسیلاژ، یک گرم گل خشک گاوزبان را در ۱۰ میلی‌لیتر اسید کلریدریک ۰/۱ نرمال جوشانده محلول موسیلاژ اولیه به‌دست می‌آید. سپس، بذرهای باقی مانده در ظرف اول دو بار و هر بار با پنج میلی‌لیتر آب جوش شسته و به محلول موسیلاژ اولیه اضافه شد. شصت میلی‌لیتر الکل اتیلیک ۹۶ درصد به محلول موسیلاژ به دست آمده اضافه و به‌مدت پنج ساعت در یخچال نگهداری شد. رسوب حاصل پس از صاف کردن در آون ۵۰ درجه به‌مدت ۱۲ ساعت قرارگرفته و توزین ماده جدا شده (موسیلاژ) با دقت ۰/۰۰۱ گرم انجام شد (Kalyanasundaram et al., 1982). برای اندازه‌گیری مقدار آنتوسیانین از روش واگنر (Wagner, 1979) استفاده شد. دیسک‌های برگی تهیه شده از گیاه را در هاون چینی با مقداری متانول اسیدی (متانول خالص و اسید کلریدریک خالص به‌نسبت حجمی ۱:۹۹) سائیده و عصاره در لوله‌های آزمایش سرپیچدار ریخته شد و به‌مدت ۲۴ ساعت در تاریکی و دمای ۲۵ درجه سلسیوس قرار گرفت. پس از این به‌مدت ۱۰ دقیقه در دور ۴۰۰۰، عصاره را سانتریفیوژ نموده و جذب محلول رویی با استفاده از اسپکتوفتومتر در طول موج ۵۵۰ نانومتر خوانده شد. مقدار آنتوسیانین با استفاده از معادله $A=\varepsilon bc$ به دست آمد که در آن، مقدار ε: یا ضریب خاموشی معادل ۳۳۰۰mM/cm، A: مقدار جذب، b: عرض سلول اندازه‌گیری برابر با یک سانتی‌متر و c: مقدار آنتوسیانین برحسب مول بر گرم وزن تر کاسبرگ چای ترش می‌باشد.

اندازه گیری کاروتنوئید به‌روش اسپکتوفتومتری انجام شد (Taylor, 1992). جهت ارزیابی سیستم کشت مخلوط و مقایسه آن با کشت خالص از شاخص نسبت برابری زمین استفاده شد. برای تعیین این شاخص، عملکرد نسبی هر جزء محاسبه و مجموع آن‌ها میزان LER را نشان داد (Vandermeer, 1989).

$$LER = Yab / Yaa + Yba / Ybb \qquad (۱)$$

که در آن، Yab: عملکرد گونه a در کشت مخلوط، Yba: عملکرد گونه b در کشت مخلوط، Yaa: عملکرد گونه a در کشت خالص و Ybb: عملکرد گونه b در کشت خالص است.

تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 انجام شد. جهت مقایسه میانگین‌ها نیز از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح پنج درصد استفاده گردید.

## نتایج و بحث

### ارتفاع ساقه گل‌دهنده گاوزبان اروپایی

نتایج تجزیه واریانس داده‌های حاصل از آزمایش نشان داد که اثر سیستم‌های مختلف کشت مخلوط بر ارتفاع ساقه گل‌دهنده در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین ارتفاع ساقه گل‌دهنده (۱۴/۷۴ سانتی‌متر) از تیمار کشت مخلوط ۱۰۰ درصد چای ترش + ۵۰ درصد گاوزبان اروپایی به‌دست آمد (جدول ۳). نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر محلول‌پاشی کود سولفات آهن بر ارتفاع ساقه گل‌دهنده در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین ارتفاع ساقه گل-دهنده با میانگین ۴۱/۸۰ سانتی‌متر از تیمار محلول‌پاشی سه گرم در لیتر سولفات آهن و کمترین ارتفاع ساقه گل‌دهنده (۳۸/۳۲ سانتی‌متر) از شاهد به‌دست آمد (جدول ۳).

محققان در کشت مخلوط ماشک با یولاف گزارش کردند که کاهش یا افزایش ارتفاع بوته گیاهان به‌شدت به رقابت بین دو گیاه بستگی دارد(Tuna & Orak, 2007). اختلاف میان کمترین و بیشترین ارتفاع بوته در کشت مخلوط ناشی از رقابت برون گونه‌ای است. نتایج بسیاری از محققان حاکی از آن است که مصرف عنصر ریزمغذی آهن تأثیر معنی‌داری در افزایش ارتفاع بوته، قطر ساقه و عملکرد ماده خشک ذرت دارد (Sajedi & Ardakani, 2008). آهن یکی از عناصر ضروری کم‌مصرف برای گیاهان است. این عنصر بخشی از گروه کاتالیزوری بسیاری از آنزیم‌های اکسایش و احیاء بوده

و برای ساخت سبزینه (کلروفیل) مورد نیاز است (Kafi et al., 2000)، ازاین‌رو می‌توان گفت آهن به‌دلیل افزایش ساخت سبزینه و بهبود نورساخت، مواد نورساختی بیشتری را به نقاط مختلف گیاه از جمله ساقه‌ها فرستاده و در نتیجه، موجب افزایش ارتفاع گیاه می‌شود (Rostami et al., 2017).

### تعداد گل در ساقه گل‌دهنده

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر سیستم‌های مختلف کشت مخلوط بر تعداد گل در ساقه گل‌دهنده در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که بیشترین تعداد گل در ساقه گل‌دهنده (۸۷/۲۳ عدد) از تیمار ۱۰۰ درصد چای ترش + ۵۰ درصد گاوزبان اروپایی به‌دست آمد (جدول ۳). نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر محلول‌پاشی کود سولفات آهن بر تعداد گل در ساقه گل‌دهنده در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین تعداد گل در ساقه گل‌دهنده (۷۹/۱۹ عدد) از تیمار محلول‌پاشی سه گرم در لیتر سولفات آهن به‌دست آمد (جدول ۳). دلیل افزایش تعداد گل در ساقه گل‌دهنده گاوزبان اروپایی در کشت مخلوط، احتمالاً رقابت کمتر دو گونه زراعی برای دسترسی به منابع و استفاده بهینه از منابع محیطی می‌باشد. نتایج پژوهشی نشان داد که تعداد گل‌آذین در بوته شوید تحت تأثیرمحلول‌پاشی سطوح مختلف سولفات آهن قرار گرفته است و بیشترین تعداد گل‌آذین در محلول‌پاشی سولفات روی به همراه سولفات آهن به‌میزان یک گرم بر لیتر مشاهده شد، امّا استفاده از سطوح بالاتر سولفات آهن با سولفات روی تعداد گل‌آذین بوته را کاهش داد (Miransari et al., 2015). محلول‌پاشی بابونه آلمانی با عناصر ریزمغذی (آهن، روی، منگنز و مس) تعداد گل در بوته را به طور معنی‌داری افزایش داد و نتایج نشان داد که محلول‌پاشی عنصر آهن در مقایسه با سایر عناصر باعث ایجاد بیشترین (۱۸۵/۹۵) تعداد گل در بابونه آلمانی شد (Yousefzadeh, 2019). عنصر آهن برای تشکیل کلروفیل و فتوسنتز در گیاه ضروری است، بنابراین از طریق افزایش تولید آسیمیلات به‌طور غیرمستقیم می‌تواند در افزایش تولید گل نقش داشته باشد.

### تعداد ساقه گل‌دهنده فرعی در بوته

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر محلول‌پاشی سولفات آهن بر تعداد ساقه گل‌دهنده فرعی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین تعداد ساقه گل‌دهنده فرعی با میانگین ۶/۵۲ عدد از تیمار محلول‌پاشی سه گرم در لیتر سولفات آهن و کمترین تعداد ساقه گل‌دهنده فرعی (۴/۴۲) از تیمار محلول‌پاشی شش گرم در لیتر سولفات آهن به‌دست آمد (جدول ۳). نتایج تجزیه واریانس داده‌های حاصل از آزمایش نشان داد که اثر سیستم‌های مختلف کشت مخلوط بر تعداد ساقه گل‌دهنده فرعی در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین‌های اثر سیستم-های مختلف کشت مخلوط نشان داد که بیشترین وکمترین تعداد ساقه گل‌دهنده فرعی (۶/۶۵ عدد) و (۴/۲۵ عدد) به‌ترتیب مربوط به سیستم کشت مخلوط ۷۵ درصد چای ترش + ۲۵ درصد گاوزبان اروپایی و سیستم کشت مخلوط ۵۰ درصد چای ترش + ۵۰ درصد گاوزبان اروپایی بود (جدول ۳).

### عملکرد بیولوژیک و اقتصادی (گل) گاوزبان اروپایی

براساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، سیستم‌های مختلف کشت مخلوط بر عملکرد بیولوژیک تأثیر معنی‌داری نشان نداد، در حالی‌که محلول‌پاشی سولفات آهن در سطح پنج درصد تأثیر معنی‌داری بر عملکرد بیولوژیک نشان داد (جدول ۲). مقایسه میانگین‌های اثر محلول‌پاشی سولفات آهن نشان داد که بیشترین عملکرد بیولوژیک (۱۴۱۶/۸کیلوگرم در هکتار) در سطح سه گرم در لیتر محلول‌پاشی به‌دست آمد (جدول ۳).

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر سیستم‌های مختلف کشت مخلوط بر عملکرد اقتصادی در سطح احتمال یک درصد معنی-دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین‌های اثر سیستم‌های مختلف کشت مخلوط نشان داد که بیشترین مقدار عملکرد اقتصادی (۴۹/۶۸ کیلوگرم در هکتار) از تیمار کشت خالص گاوزبان اروپایی به‌دست آمد (جدول ۳). مصرف آهن به‌صورت محلول‌پاشی به‌صورت معنی‌داری عملکرد دانه گلرنگ را از طریق افزایش تعداد دانه در گیاه افزایش داد (Whitty & Chambliss, 2010). در تحقیقی، بیشترین عملکرد ماده خشک و سرعت رشد محصول در ذرت از محلول‌پاشی آهن به‌دست آمد (Solemani, 2012). همچنین، در کشت مخلوط گندم و باقلا گزارش شد که تولید ماده خشک در سیستم کشت مخلوط بیشتر از کشت خالص دو گیاه بود (Ghanbari & Lee, 2002).

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات کمّی وکیفی گاوزبان اروپایی در کشت مخلوط با چای ترش تحت محلول‌پاشی سولفات آهن

**Table 2- Variance analysis of quantitative and qualitative traits of European cowpea in mixed culture with sour tea under foliar application of iron sulfate**

| منابع تغییرات S.O.V. | درجه آزادی d.f | تعداد گل در ساقه گل‌دهنده Number of flowers per stem | آنتوسیانین Anthocyanin | موسیلاژ Mucilage | کاروتنوئید Carotenoid | ارتفاع ساقه گل‌دهنده Stem height | تعداد ساقه گل‌دهنده فرعی در بوته Number of sub-branches | عملکرد اقتصادی Economical yield | عملکرد بیولوژیک Biological yield | شاخص برداشت Harvest index |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| تکرار replication | 2 | $1187.8^{**}$ | $0.000064^{*}$ | $0.00001^{ns}$ | $0.034^{ns}$ | $75.05^{**}$ | $1.28^{ns}$ | $204.2^{**}$ | $106580.01^{ns}$ | $1.11^{ns}$ |
| سولفات آهن Iron sulfate(Fe) | 2 | $1374.8^{**}$ | $0.000060^{*}$ | $0.00078^{**}$ | $0.065^{ns}$ | $67.52^{**}$ | $23.04^{**}$ | $53.01^{ns}$ | $1352461.9^{**}$ | $19.01^{**}$ |
| سیستم کشت مخلوط Intercropping(I) | 6 | $971.6^{**}$ | $0.000066^{*}$ | $0.00066^{**}$ | $0.092^{ns}$ | $68.54^{**}$ | $6.79^{*}$ | $106.2^{**}$ | $398705.4^{ns}$ | $5.07^{*}$ |
| Fe × I | 12 | $115.8^{ns}$ | $0.000067^{**}$ | $0.00036^{**}$ | $0.013^{ns}$ | $6.46^{ns}$ | $0.40^{ns}$ | $22.03^{ns}$ | $16216.2^{ns}$ | $0.18^{ns}$ |
| خطا Error | 40 | 191.3 | 0.000015 | 0.000046 | 0.052 | 12.84 | 2.66 | 29.12 | 81063.05 | 1.60 |
| ضریب تغییرات C.V (%) | - | 18.88 | 17.68 | 14.61 | 16.58 | 9.002 | 29.82 | 11.79 | 24.54 | 29.11 |

ns، * و **: به‌ترتیب بیانگر عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح پنج و یک درصد می‌باشد

ns, *, and **: not significant and significant at 5 and 1% probability levels, respectively

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات کمّی گاوزبان اروپایی در کشت مخلوط با چای ترش تحت محلول‌پاشی آهن

**Table 3. Comparison of means quantitative traits of borage in intercropping with Roselle under iron foliar application**

| تیمارهای آزمایش<br>Experimental treatment | عملکرد بیولوژیک<br>Biological yeild ($kg.ha^{-1}$) | عملکرد اقتصادی<br>Economical yeild ($kg.ha^{-1}$) | ارتفاع ساقه گل‌دهنده<br>Stem height (cm) | تعداد ساقه گل‌دهنده فرعی در بوته<br>Number of sub-branches | تعداد گل در ساقه گل‌دهنده<br>Number of flowers per stem | شاخص برداشت<br>Harvest index |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **سولفات آهن<br>Iron sulfate ($g.l^{-1}$)** | | | | | | |
| شاهد<br>Control | 1154.2b* | 44.28a | 38.32b | 5.45b | 76.56a | 3.83b |
| سه گرم در لیتر<br>3 $g.l^{-1}$ | 1416.8a | 47.44a | 41.80a | 6.52a | 79.19a | 3.34b |
| ۶ گرم در لیتر<br>6 $g.l^{-1}$ | 909.3c | 45.56a | 39.30b | 4.42c | 64.04$^{b}$ | 5.01b |
| **سیستم کشت مخلوط<br>Intercropping** | | | | | | |
| کشت خالص گاوزبان اروپایی<br>Pure Borage | 1023.2bc | 49.68a | 33.82b | 4.66c | 59.08b | 4.85a |
| ۷۵٪ چای ترش + ۲۵٪ گاوزبان<br>75% Roselle + 25% Borage | 1412.8a | 44.73abc | 39.35a | 6.65a | 74.12a | 3.16d |
| ۲۵٪ چای ترش + ۷۵٪ گاوزبان<br>25% Roselle + 75% Borage | 1019.6bc | 49.10ab | 40.80a | 5.41abc | 59.47$^{b}$ | 4.49ab |
| ۵۰٪ چای ترش + ۵۰٪ گاوزبان<br>50%Roselle + 50% Borage | 861.9c | 40.72c | 40.34a | 4.25c | 77.73a | 4.72ab |
| ۵۰٪ چای ترش + ۱۰۰٪ گاوزبان<br>50% Roselle + 100% Borage | 1279.4ab | 43.11c | 41.61a | 6.03ab | 78.83a | 3.36cd |
| ۱۰۰٪ چای ترش + ۵۰۰٪ گاوزبان<br>100% Roselle + 50% Borage | 1408.5a | 48.70bc | 41.74a | 6.19ab | 87.23a | 3.45bcd |
| ۱۰۰٪ چای ترش + ۱۰۰٪ گاوزبان<br>100% Roselle + 100% Borage | 1043.4bc | 44.28bc | 40.97a | 5.07bc | 76.37a | 4.24abc |

*میانگین‌های دارای حروف مشترک براساس آزمون LSR در سطح احتمال پنج درصد دارای تفاوت معنی‌دار نمی‌باشند

* Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level using LSR

در کشت مخلوط سه گونه بابونه آلمانی، بابونه گاوی و بابونه شیرازی با عمر سه ساله، نتایج نشان داد که امکان کشت بابونه در بین ردیف‌های زعفران بدون رقابت معنی‌دار بین این دو گیاه وجود دارد، به‌طوری‌که عملکرد زعفران در تیمارهای زعفران خالص و تیمارهای مخلوط با بابونه هیچ اختلاف معنی‌داری نشان نداد (Naderi et al., 2009).

با توجه به اینکه تیمار سیستم کاشت مخلوط مزایایی از قبیل توزیع بهتر نور در تاج‌پوشش، توزیع فضایی مناسب بوته‌ها و کاهش رقابت بین بوته‌ها برای استفاده از عوامل محیطی را به نحو مطلوبی فراهم می‌سازد، در نتیجه به‌طور قابل توجهی عملکرد اقتصادی را افزایش می‌دهد. در کشت مخلوط ذرت- نخود و ذرت- سویا- لوبن نتایج مشابهی گزارش گردید (Lingaraju et al., 2008). در مطالعه‌ای حداکثر زیست‌توده چای ترش (۳۶۰۵ کیلوگرم در هکتار) در نسبت ۱:۲کشت مخلوط گوآر- چای ترش و هم‌زمان با کاربرد ۴۰ کیلوگرم اوره در هکتار به‌دست آمد، در حالی‌که بیشترین زیست‌توده در گوآر به‌ترتیب مربوط به نسبت ۱:۱ و ۳:۱ کشت مخلوط گوآر- چای ترش با کاربرد ۷۰ و ۴۰ کیلوگرم اوره در هکتار (۱۶۱۰۴ و ۱۴۷۸۱ کیلوگرم در هکتار) گزارش شد (Rahmati Ahmadabad et al., 2022).

## شاخص برداشت

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر سیستم‌های مختلف کشت مخلوط بر شاخص برداشت در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین شاخص برداشت (۴/۵۸ درصد) از تیمار کشت خالص گاوزبان اروپایی به‌دست آمد (جدول ۴). احتمالاً دلیل افزایش شاخص برداشت در تیمار کشت خالص گاوزبان اروپایی نسبت به سیستم کشت مخلوط، عدم وجود رقابت بین گونه‌ای بر سر جذب تشعشع و سایر منابع می‌باشد که در نتیجه، موجب افزایش عملکرد در تک کشتی نسبت به سایر تیمارها شده است. در تحقیقی که بر روی کشت مخلوط ذرت و سویا انجام شد، نتایج نشان داد که تیمارهای مختلف کاشت بر روی شاخص برداشت تأثیری نداشته است که این حالت می‌تواند ناشی از تغییرات هماهنگ عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک در واحد سطح باشد (Rahimi et al., 2002).

## کاروتنوئید

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر محلول‌پاشی کود سولفات آهن بر غلظت کاروتنوئید معنی‌دار نبود (جدول ۲)، امّا بیشترین غلظت کاروتنوئید با میانگین ۱/۴۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر از شاهد و کمترین غلظت کاروتنوئید (۱/۳۳میلی‌گرم بر گرم وزن تر) از تیمار محلول‌پاشی سه گرم در لیتر سولفات آهن به‌دست آمد (جدول ۳). در پژوهشی بیان گردید که کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی و توسعه علائمی مثل کلروز و نکروز تحت شرایط کمبود عناصر کم مصرف است (Marschner, 1995). کاروتنوئیدها رنگدانه‌های کمکی هستند که در جذب و انتقال نور تأثیر دارند و حفاظت کننده‌های کلروفیلی در طی فرایند اکسیداسیون نوری محسوب می‌شوند (Akbarian et al., 2012) و عنصر آهن برای سنتز کلروپلاست و کاروتنوئیدها لازم است (Shamloo & Roozbahani, 2016).

## آنتوسیانین

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات متقابل کشت مخلوط و محلول‌پاشی سولفات آهن بر میزان آنتوسیانین گاوزبان اروپایی در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بود ( جدول ۲). به‌طوری-که بیشترین وکمترین میزان آنتوسیانین به‌ترتیب با میانگین (۰/۰۲۸۳و ۰/۰۱۲۳ میکرومول بر گرم وزن تر) از تیمارهای محلول‌پاشی شش گرم در لیتر سولفات آهن و ۱۰۰ درصد چای ترش + ۱۰۰ درصد گاوزبان اروپایی و سه گرم در لیتر سولفات آهن و ۷۵ درصد چای ترش + ۲۵ درصد گاوزبان اروپایی به‌دست آمد (جدول ۴). نتایج نشان داد که محلول‌پاشی سولفات آهن در گیاه زرشک (*Berberis vulgaris* L.) به‌طور معنی‌داری میزان آنتوسیانین را افزایش داد. همچنین به‌واسطه افزایش مقدار رنگدانه‌های غیرآنزیمی (آنتوسیانین) توسط کاربرد آهن از تخریب کلروفیل‌ها جلوگیری شده و به‌طور غیرمستقیم مقدار آنتوسیانین افزایش یافت، چرا که آنتوسیانین-ها از ساختارهای حساسی مانند غشاء حفاظت کرده و از تخریب کلروفیل جلوگیری می‌کنند (Nakhai, 2014).

جدول ٤- مقایسه میانگین اثرات متقابل کشت مخلوط و محلول‌پاشی سولفات آهن بر صفات گاوزبان اروپایی

**Table 4- Comparison of means effects of intercropping and spraying of iron sulfate solution on the characteristics of borage**

| سولفات آهن<br>Iron sulfate | سیستم کشت مخلوط<br>Intercropping | آنتوسیانین<br>Anthocyanin (μm.g$^{-1}$) | موسیلاژ<br>Mucilage (%) |
|---|---|---|---|
| شاهد<br>Control | کشت خالص گاوزبان اروپایی<br>Pure Borage | 0.0200$^{c-g*}$ | 0.0543$^{c-e}$ |
| | چای ترش + ۲۵٪ گاوزبان ۷۵٪<br>75% Roselle + 25% Borage | 0.0193$^{d-g}$ | 0.0376$^{g-i}$ |
| | ۲۵٪ چای ترش + ۷۵٪ گاوزبان<br>25% Roselle + 75% Borage | 0.0186$^{e-h}$ | 0.0450$^{e-g}$ |
| | ۵۰٪ چای ترش + ۵۰٪ گاوزبان<br>50% Roselle + 50% Borage | 0.0243$^{a-g}$ | 0.0456$^{e-g}$ |
| | ۵۰٪ چای ترش + ۱۰۰٪ گاوزبان<br>50% Roselle + 100% Borage | 0.0180$^{f-h}$ | 0.0366$^{g-i}$ |
| | ۱۰۰٪ چای ترش + ۵۰٪ گاوزبان<br>100% Roselle + 50% Borage | 0.0210 $^{b-g}$ | 0.0280$^{i}$ |
| | ۱۰۰٪ چای ترش + ۱۰۰٪ گاوزبان<br>100% Roselle + 100% Borage | 0.0266$^{a}$ | 0.0223$^{hi}$ |
| سه گرم در لیتر<br>3 g.l$^{-1}$ | کشت خالص گاوزبان اروپایی<br>Pure Borage | 0.0125$^{h}$ | 0.0390$^{f-h}$ |
| | ۷۵٪ چای ترش + ۲۵٪ گاوزبان<br>75% Roselle + 25% Borage | 0.0123$^{h}$ | 0.0610$^{a-c}$ |
| | ۲۵٪ چای ترش + ۷۵٪ گاوزبان<br>25% Roselle + 75% Borage | 0.0173$^{gh}$ | 0.0453$^{e-g}$ |
| | ۵۰٪ چای ترش + ۵۰٪ گاوزبان<br>50% Roselle + 50% Borage | 0.0266$^{a-c}$ | 0.0496$^{d-f}$ |
| | ۵۰٪ چای ترش + ۱۰۰٪ گاوزبان<br>50% Roselle + 100% Borage | 0.0260$^{a-d}$ | 0.0613$^{a-c}$ |
| | ۱۰۰٪ چای ترش + ۵۰٪ گاوزبان<br>100% Roselle + 50% Borage | 0.270$^{ab}$ | 0.0403$^{f-h}$ |
| | ۱۰۰٪ چای ترش + ۱۰۰٪ گاوزبان<br>100% Roselle + 100% Borage | 0.0250$^{a-e}$ | 0.0386$^{f-h}$ |
| شش گرم در لیتر<br>6 g.l$^{-1}$ | کشت خالص گاوزبان اروپایی<br>Pure Borage | 0.0240$^{a-g}$ | 0.0713$^{a}$ |
| | ۷۵٪ چای ترش + ۲۵٪ گاوزبان<br>75% Roselle + 25% Borage | 0.0260$^{a-d}$ | 0.0600$^{b-d}$ |
| | ۲۵٪ چای ترش + ۷۵٪ گاوزبان<br>25% Roselle + 75% Borage | 0.0256$^{a-d}$ | 0.0463$^{e-g}$ |
| | ۵۰٪ چای ترش + ۵۰٪ گاوزبان<br>50% Roselle + 50% Borage | 0.0210bcdefg | 0.0303$^{hi}$ |
| | ۵۰٪ چای ترش + ۱۰۰٪ گاوزبان<br>50% Roselle + 100% Borage | 0.0213$^{b-g}$ | 0.0700$^{ab}$ |
| | ۱۰۰٪ چای ترش + ۵۰٪ گاوزبان<br>100% Roselle + 50% Borage | 0.0223$^{a-g}$ | 0.0301$^{hi}$ |
| | ۱۰۰٪ چای ترش + ۱۰۰٪ گاوزبان<br>100% Roselle + 100% Borage | 0.0283$^{a}$ | 0.0523$^{c-e}$ |

* میانگین‌های دارای حروف مشترک براساس آزمون LSR در سطح احتمال پنج درصد دارای تفاوت معنی‌دار نمی‌باشند

* Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level using LSR

**موسیلاژ**

براساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، اثرات متقابل کشت مخلوط و محلول‌پاشی سولفات آهن بر درصد موسیلاژ گاوزبان اروپایی در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین درصد موسیلاژ با میانگین ۰/۰۷۱۳ از تیمار محلول‌پاشی شش گرم در لیتر سولفات آهن در شرایط کشت خالص گاوزبان اروپایی و کمترین درصد موسیلاژ با میانگین ۰/۰۲۸۰ از شاهد (عدم کاربرد کود سولفات آهن و ۱۰۰ درصد چای ترش + ۵۰ درصد گاوزبان اروپایی) به‌دست آمد (جدول ۴).

**نسبت برابری زمین**

نتایج نشان داد که سیستم‌های مختلف کاشت دارای اثر معنی‌داری بر نسبت برابری زمین در سطح احتمال یک درصد بود (جدول ۵). به‌طوری‌که بیشترین نسبت برابری زمین (۲)، از کشت مخلوط ۱۰۰ درصد چای ترش + ۵۰ درصد گاوزبان اروپایی به‌دست آمد (جدول ۶). نسبت برابری زمین در سیستم‌های کشت مخلوط بالاتر از واحد بود که نشان‌دهنده مزیت کشت‌های مخلوط در مقایسه با کشت‌های خالص است. محققان بیان کردند که بیشترین نسبت برابری زمین (۱/۳۶) از تیمار کشت مخلوط ۱۰۰ درصد ذرت + ۱۰۰ درصد بادام زمینی به‌دست آمد که اختلاف معنی‌داری با تیمار کشت مخلوط ۵۰ درصد ذرت + ۵۰ درصد بادام زمینی داشت (Dahmardeh & Keshtehgar, 2014). در بررسی اثر کشت مخلوط زعفران (*Crocus sativus* L.) و زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) بر رشد، کیفیت و نسبت برابری زمین در شرایط نیمه خشک، بهترین تیمار کشت مخلوط سیستم کاشت ۵۰ درصد زعفران و ۵۰ درصد زیره سبز بود و این تیمار بالاترین مقدار نسبت برابری زمین را نشان داد (Koocheki et al., 2016). نتایج حاصل از تحقیق دیگری نشان داد که تیمار کشت بین ردیفی ۲۵ درصد گشنیز و ۷۵ درصد شنبلیله، بیشترین ارتفاع و عملکرد زیست‌توده شنبلیله، بیشترین نسبت برابری زمین، کمترین درصد اسانس، عملکرد اسانس و عملکرد زیست‌توده گیاه گشنیز را به خود اختصاص داد (Bigonah et al., 2014). به نظر می‌رسد که چای ترش و گاوزبان به‌دلیل استفاده از بخش‌های مختلف پروفیل خاک توسط سیستم ریشه‌ای متفاوت، عمق ریشه‌دهی متفاوت، پراکنش ریشه‌های جانبی و تراکم ریشه، کاهش رقابت برای آب و مواد غذایی، توزیع یکنواخت تاج‌پوشش و همچنین، جذب تشعشع فعال فتوسنتزی به‌دلیل اختلاف در آرایش شاخ و برگ و شکل تاج‌پوشش دو گیاه موجب برتری کشت مخلوط نسبت به کشت خالص شده است.

**جدول ۵- تجزیه واریانس نسبت برابری زمین در کشت مخلوط جای ترش وگاوزبان اروپایی**

**Table 5- Variance analysis of the ratio of land equality in mixed cultivation of Roselle and European borage**

| منابع تغییرات S.O.V. | درجه آزادی d.f | نسبت برابری زمین LER |
|---|---|---|
| تکرار Replication | 2 | 0.1149$^{ns}$ |
| سولفات آهن Iron sulfate | 2 | 0.0009$^{ns}$ |
| سیستم کشت مخلوط Intercropping | 5 | 0.7445$^{**}$ |
| Fe × I | 10 | 0.0419$^{ns}$ |
| خطا Error | 34 | 0.0481 |
| ضریب تغییرات C.V (%) | - | 13.44 |

ns، * و **: به‌ترتیب بیانگر عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح پنج و یک درصد می‌باشد

ns, *, and **: not significant and significant at 5 and 1% probability levels, respectively

جدول ٦- مقایسه میانگین نسبت برابری زمین
**Table 6- Comparison of Land Equivalent Ratio**

| سیستم کشت مخلوط<br>**Intercropping** | نسبت برابری زمین<br>**LER** |
|---|---|
| ٪۷۵ چای ترش + ٪۲۵ گاوزبان<br>75% Roselle + 25% Borage | 1.71[b] |
| ٪۲۵ چای ترش + ٪۷۵ گاوزبان<br>25% Roselle + 75% Borage | 1.30[c] |
| ٪۵۰ چای ترش + ٪۵۰ گاوزبان<br>50% Roselle + 50% Borage | 1.43[c] |
| ٪۵۰ چای ترش + ٪۱۰۰ گاوزبان<br>50% Roselle + 100% Borage | 1.40[c] |
| ٪۱۰۰ چای ترش + ٪۵۰ گاوزبان<br>100% Roselle + 50% Borage | 2[a] |
| ٪۱۰۰ چای ترش + ٪۱۰۰ گاوزبان<br>100% Roselle + 100% Borage | 1.90[ab] |

میانگین‌های دارای حروف مشترک براساس آزمون LSR در سطح احتمال پنج درصد دارای تفاوت معنی‌دار نمی‌باشند
Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level using LSR

## نتیجه‌گیری

نتایج آزمایش حاضر نشان داد که عملکرد گاوزبان اروپایی اروپایی تحت تأثیر الگوهای مختلف کشت مخلوط و محلول‌پاشی آهن قرار گرفته است. به‌طورکلی، مشخص گردید که افزایش غلظت محلول‌پاشی سولفات آهن در سیستم کشت مخلوط افزایشی موجب افزایش میزان آنتوسیانین در گیاه گردید که نشان‌دهنده تأثیر مثبت عنصر آهن بر تولید متابولیت‌های ثانویه بود. اثر متقابل سیستم کشت مخلوط و محلول‌پاشی سولفات آهن بر مقدار موسیلاژ و آنتوسیانین گاوزبان اروپایی معنی‌دار بود و تیمار شش گرم در لیتر محلول‌پاشی سولفات آهن در سیستم‌های مختلف کاشت منجر به افزایش این دو صفت گردید. بالاترین نسبت برابری زمین (۲) نیز در سیستم کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰ درصد چای ترش + ۵۰ درصد گاوزبان اروپایی مشاهده شد که نشان‌دهنده برتری کشت مخلوط در مصرف منابع و افزایش بهره‌وری استفاده از زمین نسبت به کشت خالص گاوزبان اروپایی و در راستای اهداف کشاورزی پایدار می‌باشد.

## References


1. Abbasi, R., Hejazi, A., Akbari, G., Kafi, M., & Zand, A. (2006). Assessing different density of cumin and pea with respect of weed control. *9th Conference of Agronomy and Plant Breeding. Tehran University, Iran*. 24-26. p.141. (In Persian with English abstract)
2. Ahmad, Y.M., Shahlaby, E.A., & Shanan, N.T. (2011). The use of organic and inorganic cultures in improving vegetative growth, yield characters and antioxidant activity of roselle plants (*Hibiscus sabdariffa* L.). *African Journal of Biotechnology*, *10*(11), 1988-1996.
3. Akbarian, M.M., Heidari Sharifabad, H., Noormohammadi, G., & Darvish Kojouri, F. (2012). The effect of potassium, zinc and iron foliar application on the production of saffron (*Crocus sativa*). *Annals of Biological Research*, *3*(12), 5651-58.
4. Asadi, G.A., & Khorramdel, S. (2014). Effects of different ratio of barley and hairy vetch intercropping on yield, plant nitrogen content, weed population and diversity. *Journal of Crop Production*, *7*(1), 131-156. (In Persian with English abstract)
5. AsleMohammadi, Z., Mohammadkhani, N., & Servati, M. (2020). Effect of iron and zinc foliar application on some biochemical traits of thymus (*Thymus vulgaris* L.) plant under nitrogen deficiency. *Journal of Plant Research*, *4*(2), 10-22. (In Persian with English abstract). https://doi.org/ 20.1001.1.23832592.1400.34.3.7.8
6. Bigonah, R., Rezvani Moghaddam, P., & Jahan, M. (2014). Effect of intercropping on biological yield percentage nitrogen, and morphological traits coriander (*Coriandrum sativum* L.) with fenugreek (*Trigonella foenum-*

*graecum* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*, *12*(3), 369-377. (In Persian with English abstract)

7. Dahmardeh, M., & Keshtehgar, A. (2014). Evaluating yield and yield components of maize (*Zea mays* L.) in intercropping with peanut (*Arachis hypogaea* L.). *Journal of Agroecology*, *6*(2), 311-323. (In Persian with English abstract). https://doi.org/ 10.22067/JAG.V6I2.39371
8. Ghanbari, A., & Lee, H.C. (2002). Intercropped field beans (*Vicia faba*) and wheat (*Triticum aestivum*) for whole crop forage: Effect of nitrogen on forage yield and quality. *Journal of Agriculture Science*, *13*(8), 311-314. https://doi.org/10.1017/S0021859602002149
9. Ghorbani, R., & Koocheki, A. (2006). Organic saffron in Iran: prospects challenges. *Proceedings of the 2nd International Symposium on Saffron Biology and Technology. Mashhad, Iran,* 28-30 October 2006, p. 369-374.
10. Gliessman, S.R. (1997). *Agroecology: Ecological Processes in Sustainable Agriculture*. Arbor Press. 357 pp.
11. Ibrahim, M., Ayub, M., Maqbool, M.M., Nadeem, S.M., Tanver-Ul-Haq, T., Hussain, S., Ali, A., & Lauriault, L.M. (2014). Forage yield components of irrigated maize-legume mixtures at varied seed ratios. *Field Crops Research*, *169*, 140-144. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2014.08.013
12. Kafi, M., Lahoti, M., Zand, A., Sharifi, H.R., & Goldani, M. (2000). *Plant Physiology*. Jahad Daneshgahi, Mashhad, Iran. 379 pp. (In Persian)
13. Kalyanasundaram, N.K., Patel, P.B., & Dalal, K.C. (1982). Nitrogen need of *Plantago ovata* Forsk. In relation to the available nitrogen in soil. *Indian Journal Agriculture Science*, *52*(4), 240-242.
14. Kiani, M.H., Mokhtari, A., Zeinali, H., Abbasnejad, A., & Afghani Khoraskani, L. (2014). Rosmarinic acid and anthocyanin content improvement by foliar application of Fe and Zn fertilizer in lemon balm (*Melissa officinalis* L.). *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, *2*(5), 1525-1530.
15. Koocheki, A., Seyyedi, S.M., & Gharaei, S. (2016). Evaluation of the effects of saffron–cumin intercropping on growth, quality, and land equivalent ratio under semi-arid conditions. *Scientia Horticulturae*, *21*(3), 190-198. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.02.005
16. Kremer, R.J., & Kussman. R.J. (2011). Soil quality in a pecan–kura clover alley cropping system in the Midwestern USA. *Agroforest System*, *93*, 213 -223.
17. Kuo, M.C., & Kao, C.H. (2004). Antioxidant enzyme activities are upregulated in response to cadmium in sensitive, but not intolerant, rice (*Oryza sativa* L.) seedlings. *Botanical Bulletin of Academia Sinica*, *45*, 291-99.
18. Lingaraju, B.S., Marer, B.S.S., & Chandrashekar, S.S. (2008). Studies on intercropping of maize and pigeon pea under rain fed conditions in northern transitional zone of Karnataka. *Journal Agricultural Science*, *21*(2), 1-3.
19. Malakuti, M.J., & Tehrani, M. (1999). *The Role of Micronutrients on Yield and Quality of Crops*. Tarbiat Modares Press, Iran. 433 pp.
20. Marschner, H. (1995). *Mineral Nutrition of Higher Plants*. 2 Ed. New York: Academic Press Books, p. 889.
21. Miransari, H., Mehrafrin, A., & Naghdi-Badi, H. (2015). Response of morphological and phytochemical reactions to spray sulfate and zinc fertilizer in (*Anethum graveolens* L.). *Journal of Medicinal Plants*, *14*(2), 15-29.
22. Moradi, R., Koocheki, A., & Nassiri Mahallati, M. (2017). Evaluation of economical yield and radiation use efficiency of maize and cotton in sole and intercropping systems as affected by different levels of nitrogen. *Journal of Crop Production and Processing*, *7*(2), 47-59. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.18869/acadpub.jcpp.7.2.47
23. Mushagalusa, G.N., Ledent, J.F., & Draye, X. (2008). Shoot and root competition in potato/maize intercropping: effects on growth and yield. *Environmental and Experimental Botany*, *64*, 180-188. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2008.05.008
24. Naderi, M.R., Madani, H., Nabitaba, A., & Jalali Zand, A. (2009). Investigating agricultural and economic aspects of saffron and chamomile mixed farming in Isfahan region. Research Report of the Plan Approved in Islamic Azad University, Khorasgan branch, Iran.
25. Nasiri, Y., Zehtab-Salmasi, S., Nasrullahzadeh, S.N., Najafi, N., & Ghassemi-Golezani, K. (2010). Effects of foliar application of micronutrients (Fe and Zn) on flower yield and essential oil of chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). *Journal of Medicinal Plants Research*, *4*(17), 1733-37.
26. Omidbaigi, R. (2005). *Production of Medicinal Plants*. Vol. II. Publication of Astane Qods-e- Razavi, Iran. 438 pp. (In Persian)
27. Rahimi, M., Mazaheri, D., & Hedari Sharifabad, K. (2002). Investigating the yield and yield components of corn and soybeans intercropping. *Journal of Research and Construction*, *1*(5), 45-55.

28. Rahmati Ahmadabad, Z., Meftahizadeh, H., Shirmardi, M., Ghorbanpour, M., & Dehestani Ardakani, M. (2022). Intercropping improves yield and phytochemical attributes in guar (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) and roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) plants under nitrogen application. *South African Journal of Botany, 147*, 608-617. https://doi.org/10.1016/j.sajb.2022.02.017
29. Rangahau, M.K. (2003). Growing saffron -The world's most expensive spice. *Crop Food Research, 20*, 1-4.
30. Rezvani Moghaddam, P., & Moradi, R. (2012). Effect of planting dates, biological fertilizers and intercropping on yield and essential oil quantity of cumin and fenugreek. *Journal of Iranian Crop Science, 43*, 230-217. (In Persian with English abstract)
31. Rostami, B., Asilan, K.S., Yousefzadeh, S., & Mansorifar, S. (2017). Effect of foliar application of iron and zinc sulfate on quantitative traits and essential oil yield of coriander (*Coriandrum sativum* L.). *Iranian Journal of Field Crop Science, 48*(2), 517-525. (In Persian with English abstract)
32. Sajedi, N., & Ardakani, M. (2008). Investigating the effect of different amounts of nitrogen, iron and zinc fertilizers on the physiological parameters of fodder corn in Central province on single cross variety. *Field Crop Research, 78*(2), 99-110.
33. Shamideh Shabanzadeh, S., & Galavi, M. (2011). Effect of micronutrients foliar application and irrigation regimes on agronomic traits and yield of black cumin (*Nigella sativa* L.). *Environmental Stresses in Crop Science, 4*(1), 2-9. https://doi.org/10.22077/escs.2011.94
34. Shamloo, A., & Roozbahani, A. (2016). Effect of amino acids and microelements on the rate of photosynthetic pigments content and yield of red bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Plant Ecophysiol, 7* (21), 136-50.
35. Sharifi Ashourabadi, E., Ardakani, M.R., Paknejhad, F., Habibi, D., & Adraki, M. (2006). Effect of solid nitrogen application on biological yield, essential oil percentage and essential oil yield of balm (*Melissa officinalis* L.) under greenhouse condition. *Proceeding of 18$^{th}$ World Congress of Soil Science. Philadelphia Pennsylvania USA*, pp. 147.
36. Shobeiri, S.S., Habibi, D., Kashani, A., Pak Nejad, F., Jafari, H., & Lamei, J. (2011). Study of dry forage yield and quality of hairy vetch and triticale in pure stand and mixed cropping. *Crop Science*, *13*, 269-281. https://doi.org/20.1001.1.15625540.1390.13.2.4.0
37. Solemani, R. (2012). Enrichment of the concentration of trace elements of wheat in relation to human nutrition. *Faiz's Bimonthly Scientific-Research Journal, 16*(7), 751-754.
38. Sujatha, S., Bhat, R., Kannan, C., & Balasimha, D. (2011). Impact of intercropping of medicinal and aromatic plants with organic farming approach on resource use efficiency in arecanut (*Areca catechu* L.) plantation in India. *Industrial Crops and Products*, *33*, 78-83. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2010.09.001
39. Taylor, S. (1992). A model for predicting tea quality from the carotenoid and chlorophyll composition of fresh green tea leaf. *Journal of Science Agricultural*, *58*, 185-191.
40. Tsubo, M., Walker, S., & Mukhala, E. (2011). Comparisons of radiation use efficiency of mono-/inter-cropping systems with different row orientations. *Field Crops Research*, *71*, 17–29. https://doi.org/10.1016/S0378-4290(01)00142-3
41. Tuna, C., & Orak, A. (2007). The role of intercropping on yield potential of common vetch/oat cultivated in pure stand and mixtures. *Journal of Agriculture Biology Science, 2*, 14-19.
42. Vandermeer, J. (1989). *The Ecology of Intercropping*. Cambridge. University Press-Cambridge. England, pp. 237.
43. Wagner, G.J. (1979). Content and vacuole/extra vacuole distribution of neutral sugars, free amino acids and anthocyanins in protoplast. *Journal of Plant Physiology*, *64*, 88-93. https://doi.org/ 10.1104/pp.64.1.88
44. Whitty, E.N., & Chambliss, C.G. (2010). *Fertilization of Field and Forage Crops*, Nevada State University Publication, 21 pp.
45. Yousefzadeh, S. (2019). Investigate of morphological variation and phytochemical traits of *Matricaria recutita* L. affected by foliar application of iron, zinc, manganese and copper. *Eco-phytochemical Journal of Medicinal Plants, 26*(2), 104-116. (In Persian with English abstract)
46. Zehtab-Salmasi, S., Heidari, F., & Alyari, H. (2008). Effect of microelements and plant density on biomass and essential oil production of peppermint (*Mentha peppermint* L.). *Plant Science Research, 1*, 24-28.